

明 細 書

電動パワーステアリング装置

技術分野

[0001] 本発明は、電動パワーステアリング装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来から、運転者がハンドル(ステアリングホイール;操舵部材)に加える操舵トルクに応じて電動モータを駆動することによりステアリング機構に操舵補助力を与える電動パワーステアリング装置が用いられている。

この電動パワーステアリング装置では、典型的には比例積分器により、トルクセンサからのトルク検出信号が示す操舵トルクに基づき設定される目標の電流が電動モータに流れるように電流制御(フィードバック制御)が行われる。

[0003] この比例積分器の比例ゲインおよび積分ゲイン(以下、PIゲインという)の値は、システム全体の応答性を上げるためには高い方が望ましい。

しかし、電動パワーステアリング装置は、操舵トルクの検出のためにステアリングシャフトに介装されるトーションバーをバネ要素とし電動モータを慣性要素とする機械的な共振系を含んでいるため、上記PIゲインの値を高くしすぎると、その共振系の共振周波数すなわち電動パワーステアリング装置における機械系固有振動周波数の近傍(具体的には10〜25Hz近傍)でシステムが不安定(振動的)となりやすくなる。

[0004] したがって従来では、PIゲインの値はあまり高く設定することなくシステム全体の応答性を犠牲にしてシステムを安定化し、さらに実用周波数帯域における位相特性を改善するために、位相補償器が設けられている。

具体的には、トルクセンサからのトルク検出信号が位相補償器に与えられ、位相補償器によりトルク検出信号の位相が進められることにより実用周波数帯域におけるシステム全体の応答性が向上する。

[0005] ここで、位相補償器は、システムが振動系にならないように、共振周波数におけるゲインを低下させるように特性が設定される。したがって、位相補償器の特性を設定する際には、ゲインの高い据え切りアシスト特性に合わせて共振周波数における減衰を

高くする必要がある。しかし、位相補償器の特性として、共振周波数における減衰を高くすると、共振周波数を中心として広い周波数域において減衰が高くなり、必然的に低周波域での減衰が高くなり、低周波域での位相遅れが大きくなる。

[0006] 減衰の高い位相補償器を採用することにより据え切り時の振動の発生は防止できるが、逆に走行中においては、低周波域での位相遅れが大きいためハンドル中立付近の低負荷領域で操舵フィーリングが鈍りフワフワした感じが生じ、特に車速が高くなったときに顕著となる。しかも、この問題は、摩擦を低減した高効率の電動パワーステアリング装置では一層顕著になる。

[0007] 特開平8-91236号公報には、ソフトウェアで構成したソフト位相補償手段を備えた電動パワーステアリング装置が記載されている。この位相補償手段は、車速をパラメータにして、高速、中速、低速のときの位相補償手段の特性を異ならせたものである。しかし、特開平8-91236号公報に記載のものは、単に車速に応じて特性を異ならせているだけで、車速Vがゼロのときの操舵である据え切りと、走行中と、を区別しておらず、位相補償器の特性を据え切りアシスト特性に合わせたときの上記問題を解消していない。

発明の開示

[0008] 本発明が解決しようとする課題の1つは、位相補償器によって据え切り時の振動を抑えると、位相遅れによって走行中における操舵フィーリングのフワフワ感が生じることである。

[0009] 本発明は、操舵トルクに応じた操舵補助力を電動モータによって発生させる電動パワーステアリング装置において、操舵トルクを検出するトルクセンサと、トルクセンサの出力から前記電動モータの制御目標値を生成する際に作用する位相補償手段と、操舵が車両走行中に行われた場合と、据え切りの場合と、における前記位相補償手段の特性を異ならせる手段と、を備えていることを特徴とする。

[0010] 据え切りと走行中の操舵とを区別して、これらの場合における位相補償手段の特性を異ならせることで、据え切り用の特性として振動が発生しないように走行中の特性よりも低周波域における減衰を比較的高くしても、走行中の操舵用の特性として低周波域における減衰を比較的小さくすることができ、走行中における操舵のフワフワ感を

低減できる。

[0011] また、前記位相補償手段は、車両走行中用の第1位相補償器と、据え切り用の第2位相補償器と、をそれぞれ備え、前記位相補償手段の特性を異ならせる前記手段は、車両が走行している場合には前記第1位相補償器を介して制御目標値が生成され、据え切りの場合には前記第2位相補償器を介して制御目標値が生成されるように各位相補償器を切り替える手段によって構成されているのが好ましい。走行中操舵と据え切りとで位相補償器を切り替えることで、簡単に、適切な操舵フィーリングが得られる。

[0012] 前記位相補償手段は、所定の周波数において減衰ピークを持つように構成された車両走行中用の第1位相補償器と、所定の周波数において減衰ピークを持つように構成された据え切り用の第2位相補償器と、をそれぞれ備え、前記第2位相補償器の減衰ピークが、前記第1位相補償器の減衰ピークよりも低周波域側となるようにすることで、据え切り時の振動を抑えつつ、走行中における操舵フィーリングのフワフワ感を低減できる。

[0013] 前記位相補償手段は、下記の式の伝達関数 $G_c(s)$ で表されるものであり、当該伝達関数 $G_c(s)$ のパラメータ ζ_2 及び ω_2 は、当該電動パワーステアリング装置のトルク開ループ伝達関数のゲイン特性において機械系固有振動と前記モータの逆起電力とに基づき表れるピークを低減又は打ち消すような値に設定されているのが好ましい。

$$G_c(s) = (s^2 + 2\zeta_2\omega_2s + \omega_2^2) / (s^2 + 2\zeta_1\omega_1s + \omega_1^2)$$

ここで、 ζ_1 は、補償後の減衰係数、 ζ_2 は被補償系の減衰係数、 ω_1 は補償後の自然角周波数、 ω_2 は被補償系の自然角周波数で、前記 $G_c(s)$ のパラメータである。

[0014] 上記の場合、トルク開ループ伝達関数のゲイン特性において機械系固有振動とモータの逆起電力とに基づき現れるピークが位相補償手段によって低減または打ち消されることで、安定性を確保しつつ応答性を改善することが可能となる。なお、当該位相補償手段の入出力定常ゲインを1とすべく、下記式のように、 $G_c(s)$ においてゲイン補正係数として ω_1^2 / ω_2^2 を乗じた形態をとることもできる。

$$G_c(s) = \omega_1^2 (s^2 + 2\zeta_2\omega_2s + \omega_2^2) / \{ \omega_2^2 (s^2 + 2\zeta_1\omega_1s + \omega_1^2) \}$$

- [0015] さらに、位相補償手段の前記伝達関数 $G_c(s)$ のパラメータ ζ_1 及び ζ_2 は、下記の式を満たすように設定されているのが好ましい。

$$2^{-1/2} \leq \zeta_1 \leq 1$$

$$0 < \zeta_2 < 2^{-1/2}$$

この場合、被補償系の減衰係数となるべきパラメータ ζ_2 が $0 < \zeta_2 < 2^{-1/2}$ から選定されるので、十分な位相補償を行うことができ、補償後の減衰係数となるべきパラメータ ζ_1 が $2^{-1/2} \leq \zeta_1 \leq 1$ の範囲から選定されるので、位相補償により安定性を確保しつつ応答性を改善することができる。

- [0016] 前記位相補償手段の伝達関数 $G_c(s)$ のパラメータ ω_1 および ω_2 は、下記の式を満たし、かつ、前記トルク開ループ伝達関数のゲイン特性における前記ピークの周波数を f_p としたときに共に $2\pi \times f_p$ 近傍の値となるように設定されているのが好ましい。

$$\omega_1 = \omega_2$$

- [0017] $\omega_1 = \omega_2$ とすることで、位相補償の設計パラメータが1つ削減され、かつ補償後の自然角周波数となるべきパラメータ ω_1 が $2\pi \times f_p$ 近傍の値となることで機械系固有振動による不安定化が防止されるので、位相補償の設計を簡易化しつつ制御系の更なる安定化を図ると共に応答性を改善することができる。

- [0018] 前記位相補償手段の伝達関数 $G_c(s)$ のパラメータ ω_1 は、下記の式を満たすように設定されているのが好ましい。

$$\omega_1 < \omega_m$$

ここで、 ω_m は、前記機械系固有振動の角周波数である。

補償後の自然角周波数となるべきパラメータ ω_1 が機械系固有振動の角周波数 ω_m よりも小さいので、機械系の固有振動による制御系の不安定化が防止され、より確実に安定を保持しつつ応答性を改善することが可能となる。

図面の簡単な説明

- [0019] [図1]電動パワーステアリング装置におけるトルク開ループ伝達関数の特性をシミュレーションにより求めたものであって、非干渉化をおこなった場合と非干渉化をおこなわなかった場合とについてのボード線図である。

[図2]電動パワーステアリング装置において位相補償をおこなわない場合のボード線

図、および、位相補償をおこなった場合のボード線図である。

[図3]電動パワーステアリング装置の構成をそれに関連する車両構成と共に示す概略図である。

[図4]電動パワーステアリング装置の要部構成を示すブロック図である。

[図5]位相補償器のボード線図である。

符号の説明

[0020] 3 トルクセンサ

6 電動モータ

15 位相補償部

15a 第1位相補償器(位相補償手段)

15b 第2位相補償器(位相補償手段)

15c 切替器(特性を異ならせる手段)

発明を実施するための最良の形態

[0021] まず、位相補償設計のための基礎的検討について説明する。

電動パワーステアリング装置の制御設計における位相補償に関する既述の従来技術は、機械的な共振周波数である機械系固有振動周波数のピーク(以下「機械系ピーク」という)を補償するものとして提案されているが、これにはモータによる逆起電力の影響が考慮されていない。すなわち、電動パワーステアリング装置のシステムとしてのゲイン特性すなわちトルク開ループ伝達関数のゲイン特性におけるピーク(以下「システムピーク」という)が機械系のピークであるとみなされていた。しかし、下記のシミュレーションを行った結果、モータにおける逆起電力がシステム特性に与えている影響は大きいものであり、機械系ピークとシステム全体のピーク(システムピーク)とは別の周波数であることが判明した。

[0022] このことについて図1を参照しつつ説明する。なお、トルク開ループ伝達関数とは、モータが発生すべきトルクの目標値を入力とし、舵角を(例えばハンドルを中立位置に)固定した状態でモータが実際に発生するトルク(以下「モータトルク」という)を出力とする伝達関数をいう。そして、モータが発生すべきトルクの目標値は電流制御系における電流目標値に対応し、モータトルクはモータに実際に流れる電流に対応す

るので、トルク開ループ伝達関数は、舵角を固定した状態の電動パワーステアリング装置において電流目標値を入力とし実際にモータに流れる電流を出力とする伝達関数に相当する。

[0023] 図1は、ブラシレスモータを用いた電動パワーステアリング装置のトルク開ループ伝達関数のボード線図(ゲイン特性図および位相特性図)をシミュレーション(数値実験)により求めたものであって、同モータd軸およびq軸電流制御系において非干渉化をおこなった場合と非干渉化をおこなわなかった場合とについてのボード線図を示している。非干渉化をおこなうことにより、逆起電力による影響を取り除き、機械系の特性を得ることができる。なお、このシミュレーションの際の条件は下記の通りである。

[0024] モータ出力側の慣性: $J_m = 7.89 \times 10^{-5} [\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2 / \text{rad}]$

モータ出力側の粘性: $C_m = 1.39 \times 10^{-3} [\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}]$

減速器の減速比: $n = 9.7$

トーションバーの弾性: $K = 162.95 [\text{N} \cdot \text{m} / \text{rad}]$

モータのトルク定数: $K_T = 5.12 \times 10^{-2} [\text{N} \cdot \text{m} / \text{A}]$

モータのインダクタンス: $L = 9.2 \times 10^{-5} [\text{H}]$

モータの抵抗: $R = 6.1 \times 10^{-2} [\Omega]$

モータの極対数: $P = 4$

逆起電力定数: $\phi_{fp} = 4.93 \times 10^{-2} [\text{V} \cdot \text{s} / \text{rad}]$

PI制御部の比例ゲイン: $K_p = L \times (2\pi \times 75)$

PI制御部の積分ゲイン: $K_i = R \times (2\pi \times 75)$

[0025] 図1のゲイン特性を示す図に着目する。図1において、曲線aは非干渉化をおこなっていない場合のゲイン特性を示しており、そのピーク周波数すなわちシステムピークの周波数(以下「システムピーク周波数」または単に「ピーク周波数」といい、記号“ f_p ”で表すものとする)は約17Hzである。曲線bは非干渉化をおこなった場合のゲイン特性を示しており、ピーク周波数 f_p は約22Hzである。また、曲線cは弾性・慣性のみ、のゲイン特性すなわち機械的要素のみのゲイン特性を示しており、このピーク周波数も約22Hzとなっている。したがって、機械系ピークの周波数(以下「機械系ピーク周波数」といい、記号“ f_m ”で表すものとする)は約22Hzであり、システムピークが機械

系ピークとは異なる周波数にあることがわかる。

[0026] 次に、上記電動パワーステアリング装置において位相補償を行った場合のトルク開ループ伝達関数のゲイン特性を示す図2に着目する。図2において、曲線dは位相補償なしの場合のゲイン特性を示しており、図1における曲線a(非干渉化をおこなっていない場合のゲイン特性を示す曲線)に相当し、曲線dが示すゲイン特性におけるピークPは、前述のとおり、逆起電力の影響を反映したピークである。そして、このピークPは、機械系ピークPm(これは図1における曲線bまたは曲線cのピークに相当する)よりも低い周波数にある。

[0027] 従来は、逆起電力の影響が考慮されていなかったため、上記ピークPを機械系ピークPmとみなし、このピークPを打ち消すべく位相補償が行われていた。このため、位相補償器の設計によっては、位相補償後も機械系ピークPmの影響によってシステム全体が不安定化する(振動的となる)ことがあった。そこで、本実施形態の電動パワーステアリング装置では、逆起電力の影響によってシステム全体のゲインのピークPが機械系ピークPmと異なる点を考慮して位相補償器が設計される。

[0028] 図3は、電動パワーステアリング装置の構成を、それに関連する車両構成と共に示している。この電動パワーステアリング装置は、操舵部材としてのハンドル(ステアリングホイール)100に一端が固着されるステアリングシャフト102と、そのステアリングシャフト102の他端に連結されたラックピニオン機構(ラックピニオン式ステアリングギヤ)104と、を備えている。

[0029] ステアリングシャフト102が回転すると、その回転はラックピニオン機構104によってラック軸の往復運動に変換される。ラック軸の両端はタイロッドおよびナックルアームからなる連結部材106を介して車輪108に連結されており、ラック軸の往復運動に応じて車輪108の向きが変わる。なお、ラックピニオン式ステアリングギヤ104における摩擦値はステアリングシャフト周りのトルク換算値で0.6Nm以下の低い値に抑えられている。

[0030] また、電動パワーステアリング装置は、ハンドル100の操作によってステアリングシャフト102に加えられる操舵トルクを検出するトルクセンサ3と、操舵補助力を発生させる電動モータ(ブラシレスモータ)6と、そのモータ6の発生する操舵補助力をステアリ

ングシャフト102に伝達する減速機(減速ギヤ)7と、車載バッテリー8から電源の供給を受けて、トルクセンサ3などからのセンサ信号に基づきモータ6の駆動を制御する電子制御ユニット(ECU)5と、を備えている。なお、減速機7における摩擦値は、ステアリングシャフト周りのトルク換算値で0.3Nm以下、好ましくは0.2Nm以下の低い値に設定されている。本装置では、主要な摩擦要素であるステアリングギヤ104及び減速機7の摩擦値が低く抑えられており、装置全体として低摩擦で高効率のシステムとなっている。ステアリングギヤ104の摩擦値と減速機7の摩擦値の総和の具体値としては、1.0Nm以下が好ましく、さらには0.9Nm以下が好ましい。

[0031] このような電動パワーステアリング装置を搭載した車両において、運転者がハンドル100を操作すると、その操作による操舵トルクがトルクセンサ3によって検出され、その操舵トルク T_s の検出値や車速などに基づいてECU5によりモータ6が駆動され、操舵補助力が発生する。操舵補助力が減速ギヤ7を介してステアリングシャフト102に加えられることにより、操舵操作による運転者の負担が軽減される。すなわち、ハンドル操作によって加えられる操舵トルク T_s と、モータ6の発生する操舵補助トルク T_a との和が、出力トルク T_b として、ステアリングシャフト102に与えられて操舵が行われる。

[0032] 図4は、本発明に係る電動パワーステアリング装置の制御装置としてのECU5を中心とする要部構成を示すブロック図である。この電動パワーステアリング装置は、上記のように電動モータ6を駆動制御するためのECU5を備えている。ECU5には、ハンドル100に加えられた操舵トルクを検出するトルクセンサ3および車速を検出する車速センサ4の出力信号が与えられている。

[0033] ECU5は、マイクロコンピュータを含む構成であって、このマイクロコンピュータがプログラム処理を実行することにより、複数の機能処理部が機能する。複数の機能処理部は、トルクセンサ3の出力信号であるトルク信号に対してフィルタリング処理を行うことにより位相補償を行う位相補償部15と、この位相補償部15を通過した後のトルク信号および車速センサ4から出力される車速信号に応じた目標電流を設定する目標電流値設定部16と、目標電流値設定部16によって設定された目標電流値に基づいて電動モータ6をフィードバック制御するモータ制御部17とを含んでいる。

- [0034] トルクセンサ3は、ハンドル100の操作によって与えられる操舵トルク T_s を検出する。すなわち、ステアリングシャフト102におけるハンドル側の部分と減速ギヤ7を介して操舵補助トルク T_a の加えられる部分との間にトーションバーが介装されており、トルクセンサ3は、そのトーションバーのねじれを検出することにより操舵トルク T_s を検出する。このようにして検出された操舵トルク T_s の検出値は、操舵トルク検出信号(以下、これも符号“ T_s ”で示すものとする)としてトルクセンサ3から出力されECU5内の位相補償部15に入力される。
- [0035] 位相補償部15は、この操舵トルク検出信号 T_s に対して位相補償のためのフィルタリング処理を施し、その処理後の信号を目標電流値設定部16に出力するものである。この位相補償部15は、それぞれ特性の異なる第1位相補償器15a及び第2位相補償器15bと、操舵トルク検出信号 T_s を第1位相補償器15aに与えるか第2位相補償器15bに与えるかを切り替える切替器15cと、を備えている。
- [0036] 切替器(位相補償器の特性を異ならせる手段)15cには、車速センサ4からの車速信号 V が与えられ、車両が走行中($V \neq 0$)か据え切り($V = 0$)かによって、位相補償器(位相補償手段)15a, 15bを選択する。切替器15cによって、車両が走行中の場合には走行中用である第1位相補償器15aが選択され、当該第1位相補償器15aに操舵トルク検出信号 T_s が与えられ、第1位相補償器15aの出力が目標電流値設定部16に与えられる。
- 一方、据え切りの場合には据え切り用である第2位相補償器15bが選択され、当該第2位相補償器15bに操舵トルク検出信号 T_s が与えられ、第2位相補償器15bの出力が目標電流値設定部16に与えられる。
- [0037] 目標電流値設定部16は、第1位相補償器15a又は第2位相補償器15bによるフィルタリング処理後の信号と、上記車速信号 V とに基づき、モータ6に供給すべき電流の目標値を算出し、目標電流値 I_t として出力する。
- モータ制御部17は、目標電流値設定部16が出力した目標電流値 I_t を受け取り、その目標電流値 I_t に対し、実際にモータ6に流れる電流値 I_s が一致するように電流制御を行う。その電流制御としては、例えば、目標電流値 I_t と実電流値 I_s との偏差が打ち消されるようにモータ6に印加すべき電圧の指令値を算出する比例積分制御が行わ

れる。モータ制御部17は、その電圧指令値に応じてモータ6に電圧を印加する。

[0038] モータ6は、その電圧印加によって流れる電流に応じた操舵補助力としてのトルク T_m を発生し、このトルク T_m は、減速ギヤ7を介し操舵補助トルク T_a としてステアリングシャフト102に伝達される。

[0039] 以下、位相補償部15について説明する。

電動パワーステアリング装置のシステム全体としての特性を示すトルク開ループ伝達関数の周波数特性は、実用的な周波数帯域においては2次遅れ系の伝達関数で近似できることが知られている。図2は、位相補償を行わない場合と位相補償を行った場合のボード線図である。図2においても、2次遅れ系の伝達関数の特徴が表れている。

[0040] まず、位相補償を行わない場合について説明する。曲線dは、位相補償を行わない場合のゲイン特性を示しており、この曲線dから、システム全体のトルク開ループ伝達関数のゲイン特性のピーク周波数 f_p は約17Hzであって、そのときのゲインは約9dBとなっており、安定性が低いことがわかる。また、位相補償を行わない場合の特性を示す曲線fより、20Hz〜30Hz付近で位相の遅れが大きくなっていることがわかる。2次遅れ系の伝達関数 $G(s)$ の一般式を次式に示す。

$$G(s) = \omega_n^2 / (s^2 + 2\zeta_2 \omega_n s + \omega_n^2)$$

ただし、 s はラプラス演算子、 ζ_2 は減衰係数、 ω_n は自然角周波数である。

[0041] 位相補償器15a、15bの伝達関数 $G_c(s)$ は、被補償系を示す上記2次遅れ系の伝達関数 $G(s)$ のゲイン特性におけるピークであるシステムピーク P を打ち消すべく設定されるものであって、本実施形態では次式で与えられる。

$$G_c(s) = (s^2 + 2\zeta_2 \omega_2 s + \omega_2^2) / (s^2 + 2\zeta_1 \omega_1 s + \omega_1^2)$$

ただし、 s はラプラス演算子、 ζ_1 は補償後の減衰係数、 ζ_2 は被補償系の減衰係数、 ω_1 は補償後の自然角周波数、 ω_2 は被補償系の自然角周波数である。本実施形態は、所望の周波数特性を有する制御系を実現する上で効果的にパラメータが設定される位相補償器を備えた電動パワーステアリング装置を提供するものである。

[0042] ここで、被補償系のゲイン特性においてピークが存在する場合、その伝達関数 $G(s)$ を表す式におけるパラメータ ζ_2 が $\zeta_2 < 2^{-1/2}$ となることが知られている。したがって

、位相補償器の伝達関数 $G_c(s)$ を表す式のパラメータ ζ_2 を式: $2^{-1/2} < \zeta_2 < 1$ で示される範囲から選定すると、十分な位相補償をすることができず、その結果、電動パワーステアリング装置が制御系として不安定(振動的な系)になりやすい。

したがって、位相補償器の伝達関数におけるパラメータ ζ_2 は式: $2^{-1/2} < \zeta_2 < 1$ で示される範囲以外から選定すべきである。

- [0043] また、位相補償器15による補償後の減衰係数 ζ_1 は、式: $0 < \zeta_1 < 2^{-1/2}$ で表される範囲で選定されると、補償後のゲイン特性においてピークが存在し補償後の制御系が不安定となりやすい。

したがって、位相補償器の伝達関数におけるパラメータ ζ_1 は式: $0 < \zeta_1 < 2^{-1/2}$ で示される範囲以外から選定すべきである。

- [0044] そこで、本実施形態では、伝達関数 $G_c(s)$ を有する位相補償器15a, 15bのパラメータ ζ_1 および ζ_2 を、下記の式が満たされるように設定する。

$$2^{-1/2} \leq \zeta_1 \leq 1$$

$$0 < \zeta_2 < 2^{-1/2}$$

このように設定することにより、安定性を確保しつつ応答性を改善することができる。

- [0045] また、システム全体のピーク周波数 f_p と機械系ピーク周波数 f_m とは異なっており、機械系ピーク周波数 f_m の方がシステムピーク周波数 f_p よりも高くなっている。そのため、 ω_1 近傍の周波数帯域で不安定(振動的な系)とならないようにするためには、機械系固有振動の角周波数 ω_m においてゲインが十分に低下している必要がある。 $\omega_m < \omega_1$ であれば、 ω_m においてゲインが十分に低下せず ω_1 近傍の周波数帯域で振動的な系となる。したがって、機械系ピークを効果的に補償するために位相補償器のパラメータ ω_1 を下記の式が満たされるように設定するのが好ましい。

$$\omega_m > \omega_1$$

- [0046] 以上のように、 ζ_1 , ζ_2 , ω_1 を設定すると、図2において、電動パワーステアリング装置の特性として、曲線eで示すようなゲイン特性および曲線gで示すような位相特性が得られる。また、図5は、位相補償器の特性を示すボード線図である。これらより、上記設定による位相補償によれば、ゲインのピークの値が大きく低下し、20Hz付近での位相の遅れが改善されることがわかる。

[0047] 以上の位相補償器によれば、位相補償設計の簡易化を図りつつ、制御系の安定性を確保すると共に応答性を向上させて所望の周波数特性のトルク開ループ伝達関数を得ることができる。

[0048] 続いて、さらに、好適な補償器設計を実現するために、まず、位相補償器の伝達関数 $G_c(s)$ における ω_1 と ω_2 について検討する。 ω_1 は補償後の自然角周波数、言い換えれば目標の自然角周波数である。ここで、 ω_1 と ω_2 が異なるということは、被補償系の自然角周波数が目標の自然角周波数になっていないということである。電動パワーステアリング装置の制御系における位相補償では、被補償系の自然角周波数と目標の自然角周波数とが同じであることが望ましいので、 $\omega_1 = \omega_2$ とする。ここで、 $\omega_n = \omega_1 = \omega_2$ とおき、以下、これを「補償器自然角周波数」というものとする。そして、システム全体のトルク開ループ伝達関数のゲイン特性におけるピーク周波数 f_p に対して、補償後の自然角周波数 $\omega_n = 2\pi \cdot f_p$ と設定すれば、機械系ピーク P_m の影響によるシステムの不安定化(振動的となること)が回避される。なお、記述のように、機械系ピーク P_m の影響によって振動的な系とならないように $\omega_m > \omega_1$ とするのが好ましい。

[0049] そこで、より好ましくは、位相補償器の伝達関数のパラメータは、下記の式が満たされるように設定する。

$$\begin{aligned}\omega_m &> \omega_1 = \omega_2 = \omega_n \\ \omega_n &= 2\pi \cdot f_p \\ 2^{-1/2} &\leq \zeta_1 \leq 1 \\ 0 < \zeta_2 &< 2^{-1/2}\end{aligned}$$

[0050] このように、 ω_1 と ω_2 を同じ値に設定することにより、設計パラメータが1つ削減され、効果的かつ簡単に応答性と安定性を満足させることができる。

また、 $\omega_n = 2\pi \cdot f_p$ の f_p (以下、これをシステムピーク周波数 f_p と区別するために記号“ f_n ”で表し、「補償器自然周波数」という)については、ピーク周波数 f_p と同一の値でなくてもピーク周波数 f_p の近傍の値であれば十分に実用的である。したがって、補償器自然角周波数 ω_n は次式のように設定できる。

$$2\pi \times (f_p - \alpha) \leq \omega_n \leq 2\pi \times (f_p + \beta)$$

[0051] 本実施形態では、車両走行中用である第1位相補償器15aも、据え切り用である第

2位相補償器15bも、上記式 $G_c(s)$ で表される伝達関数を持つ。第1位相補償器15aと第2位相補償器15bは、 $G_c(s)$ のパラメータの値がお互いに異なるが、その値は、上記範囲で選定されている。

例えば、走行中用の第1位相補償器15aのパラメータとして、 $\omega_n = 2\pi \times 21\text{Hz}$, $\zeta_1 = 1$, $\zeta_2 = 0.2$ を選定した場合、据え切り用の第2位相補償器15bのパラメータとして $\omega_n = 2\pi \times 20\text{Hz}$, $\zeta_1 = 1$, $\zeta_2 = 0.2$ を選定して、両位相補償器15a, 15bの特性を異ならせることができる。

- [0052] 上記の例の場合、据え切り用の第2位相補償器15bの ω_n の値が第1位相補償器15bに比べて小さいので、第2位相補償器15bの減衰のピークは、第1位相補償器15bの減衰ピークに比べて低周波域側となる。この結果、第2位相補償器15bは、低周波域での減衰度が全体的に高くなる。

一方、第1位相補償器15aの ω_n の値が第2位相補償器15aよりも大きいため、走行中においては低周波域での減衰及び位相遅れが比較的小さくなり、操舵フィーリングのフワフワ感が低下する。

- [0053] 第1位相補償器15aでは、さらに車速に応じてパラメータの値を異ならせてもよく、例えば、低速時には、パラメータを、 $\omega_n = 2\pi \times 21\text{Hz}$, $\zeta_1 = 1$, $\zeta_2 = 0.2$ とし、中速以上の時には、パラメータを、 $\omega_n = 2\pi \times 23\text{Hz}$, $\zeta_1 = 1$, $\zeta_2 = 0.3$ とすることができる。 ω_n を大きくすることで、減衰ピークの周波数を高周波域側へずらすことができ、 ζ_2 を大きくすることで減衰度を低くすることができる。これにより、操舵フィーリングを一層向上させることができる。

- [0054] 本実施形態では、位相補償器として第1位相補償器15aと第2位相補償器15bをそれぞれ別々に設けて両補償器15a, 15bを切替器15cで切り替えているが、2つの位相補償器に代えて単一の位相補償器を設けておき、走行中か据え切りかで位相補償器の $G_c(s)$ のパラメータ(ω_n , ζ_1 , ζ_2)として異なる値が与えられるようにしておいてもよい。

- [0055] なお、本発明において、位相補償器の伝達関数及びその特性は、上記のものに限定されない。

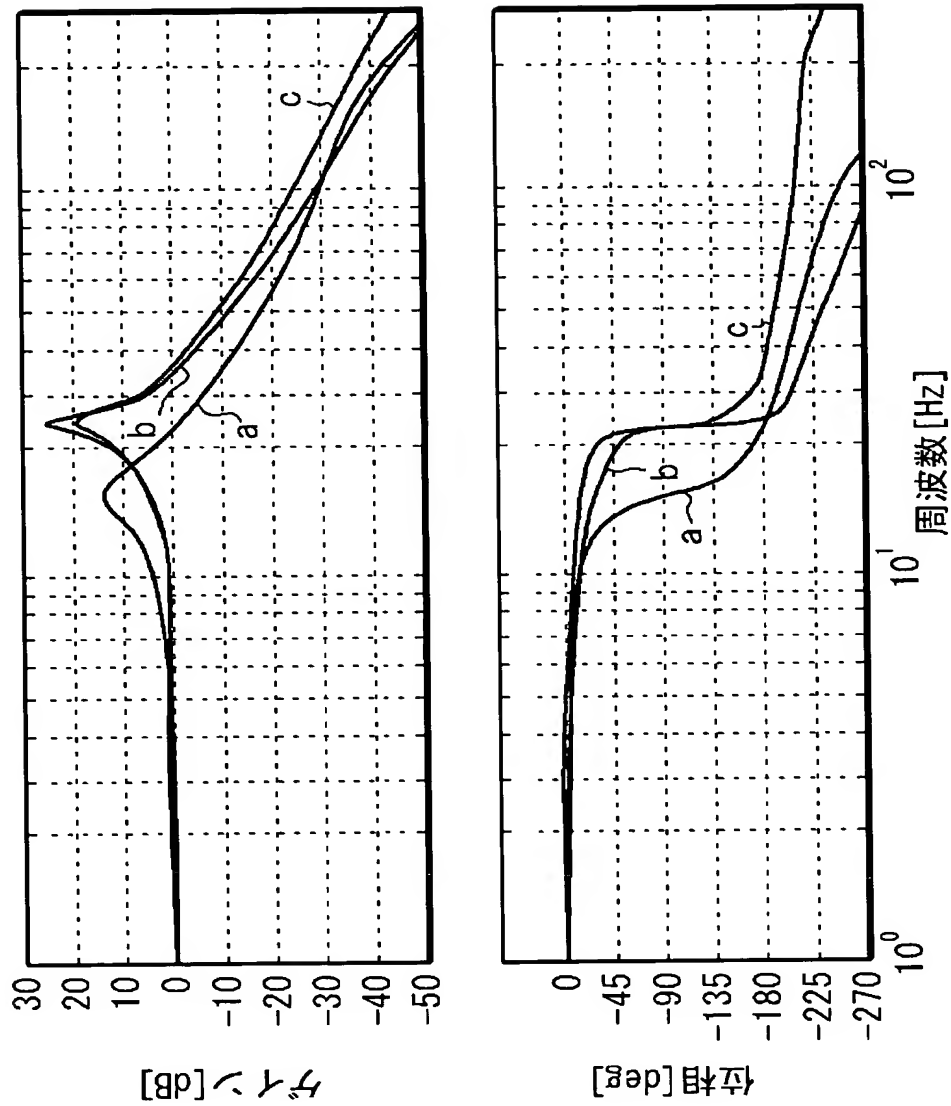
請求の範囲

- [1] 操舵トルクに応じた操舵補助力を電動モータによって発生させる電動パワーステアリング装置において、
 操舵トルクを検出するトルクセンサと、
 前記トルクセンサの出力から前記電動モータの制御目標値を生成する際に作用する位相補償手段と、
 操舵が車両走行中に行われた場合と、据え切りの場合と、における前記位相補償手段の特性を異ならせる手段と、
 を備えていることを特徴とする電動パワーステアリング装置。
- [2] 請求項1記載の電動パワーステアリング装置において、
 前記位相補償手段は、車両走行中用の第1位相補償器と、据え切り用の第2位相補償器と、をそれぞれ備え、
 前記位相補償手段の特性を異ならせる前記手段は、車両が走行している場合には前記第1位相補償器を介して制御目標値が生成され、据え切りの場合には前記第2位相補償器を介して制御目標値が生成されるように各位相補償器を切り替える手段によって構成されている。
- [3] 請求項1記載の電動パワーステアリング装置において、
 前記位相補償手段は、所定の周波数において減衰ピークを持つように構成された車両走行中用の第1位相補償器と、所定の周波数において減衰ピークを持つように構成された据え切り用の第2位相補償器と、をそれぞれ備え、
 前記第2位相補償器の減衰ピークは、前記第1位相補償器の減衰ピークよりも低周波域側にある。
- [4] 請求項1記載の電動パワーステアリング装置において、
 前記位相補償手段は、下記の式の伝達関数 $G_c(s)$ で表されるものであり、当該伝達関数 $G_c(s)$ のパラメータ ζ_2 及び ω_2 は、当該電動パワーステアリング装置のトルク開ループ伝達関数のゲイン特性において機械系固有振動と前記モータの逆起電力とに基づき表れるピークを低減又は打ち消すような値に設定されている。

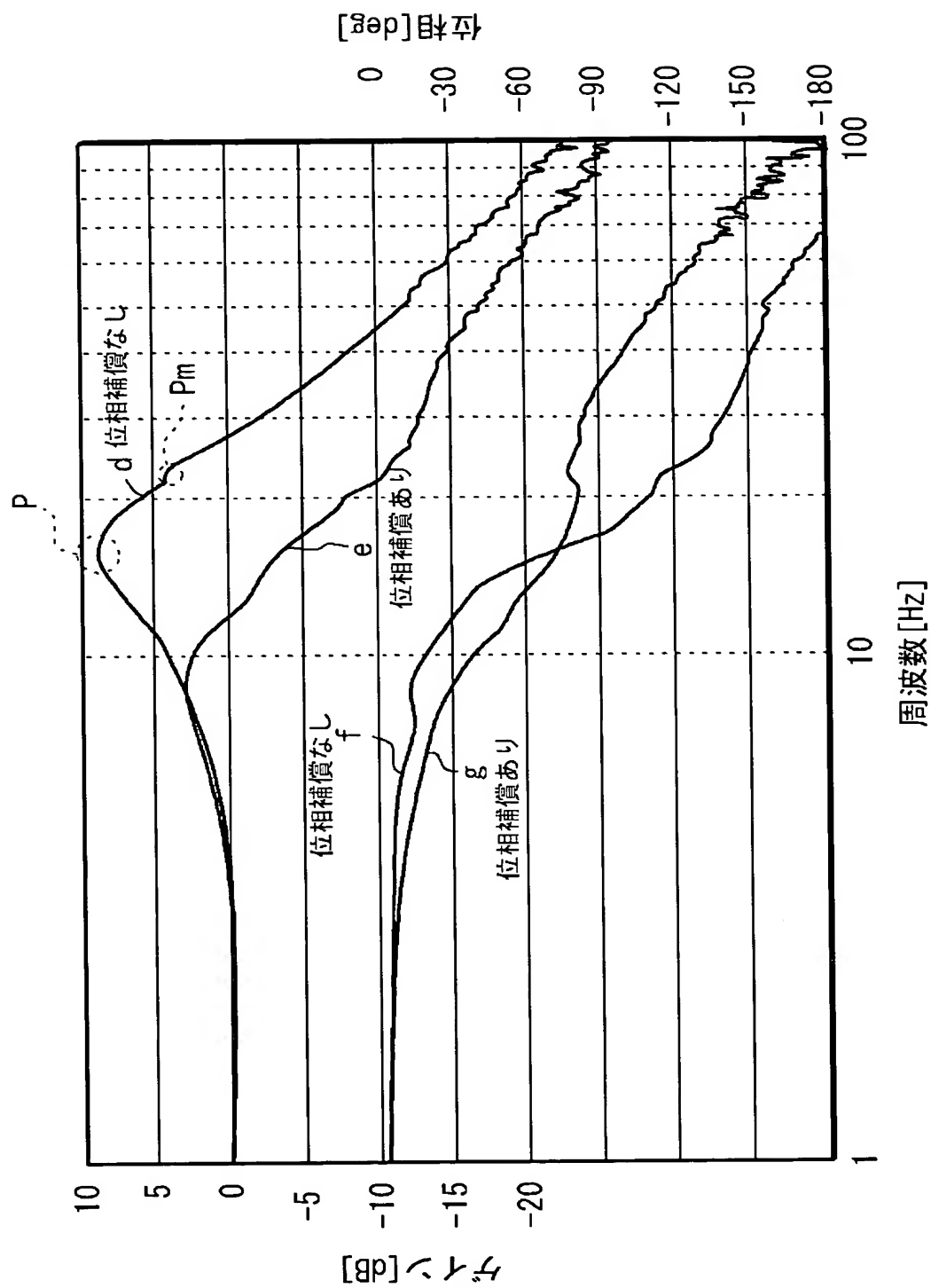
$$G_c(s) = (s^2 + 2\zeta_2\omega_2s + \omega_2^2) / (s^2 + 2\zeta_1\omega_1s + \omega_1^2)$$

ここで、 ζ_1 は、補償後の減衰係数、 ζ_2 は被補償系の減衰係数、 ω_1 は補償後の自然角周波数、 ω_2 は被補償系の自然角周波数で、前記 $G_c(s)$ のパラメータである。

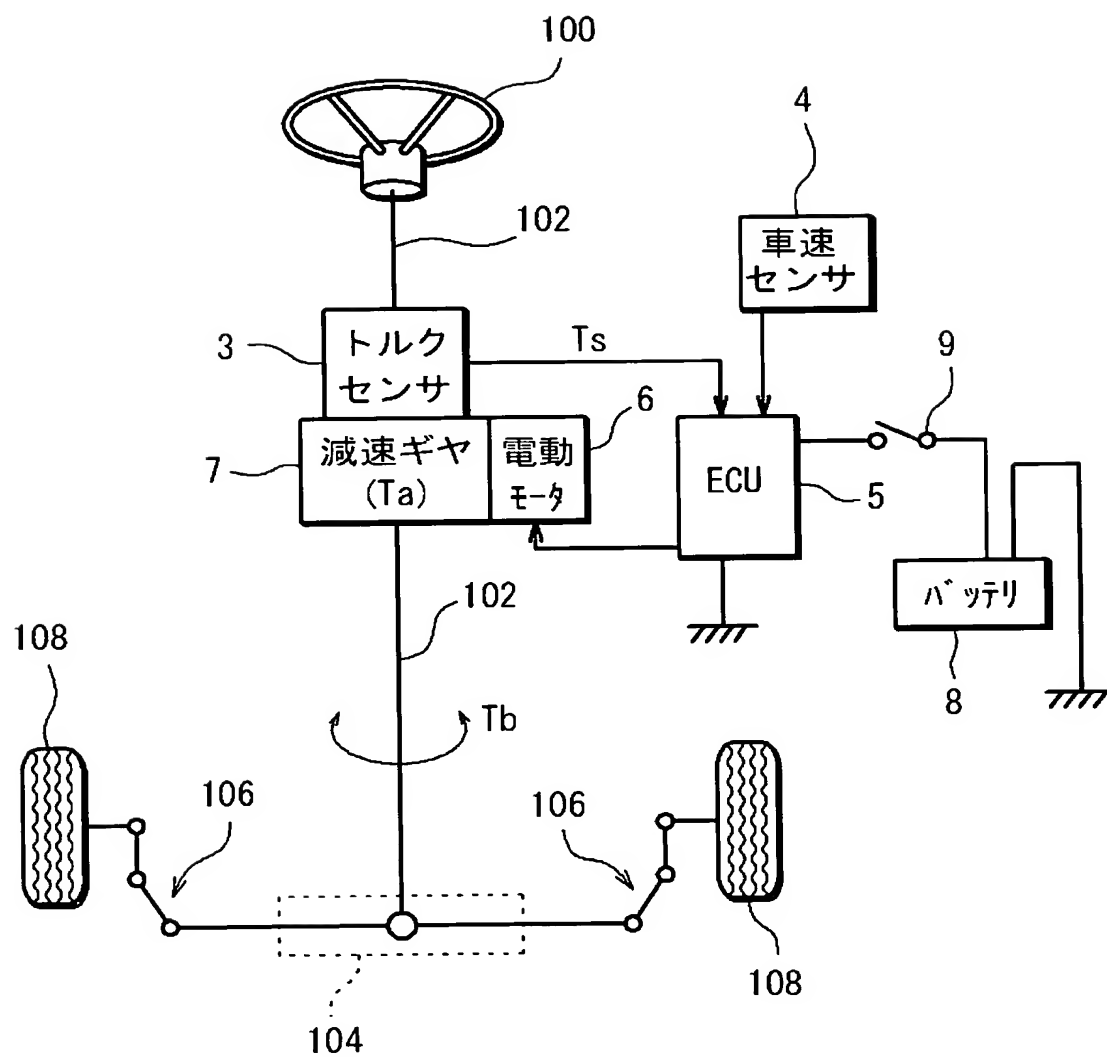
[図1]



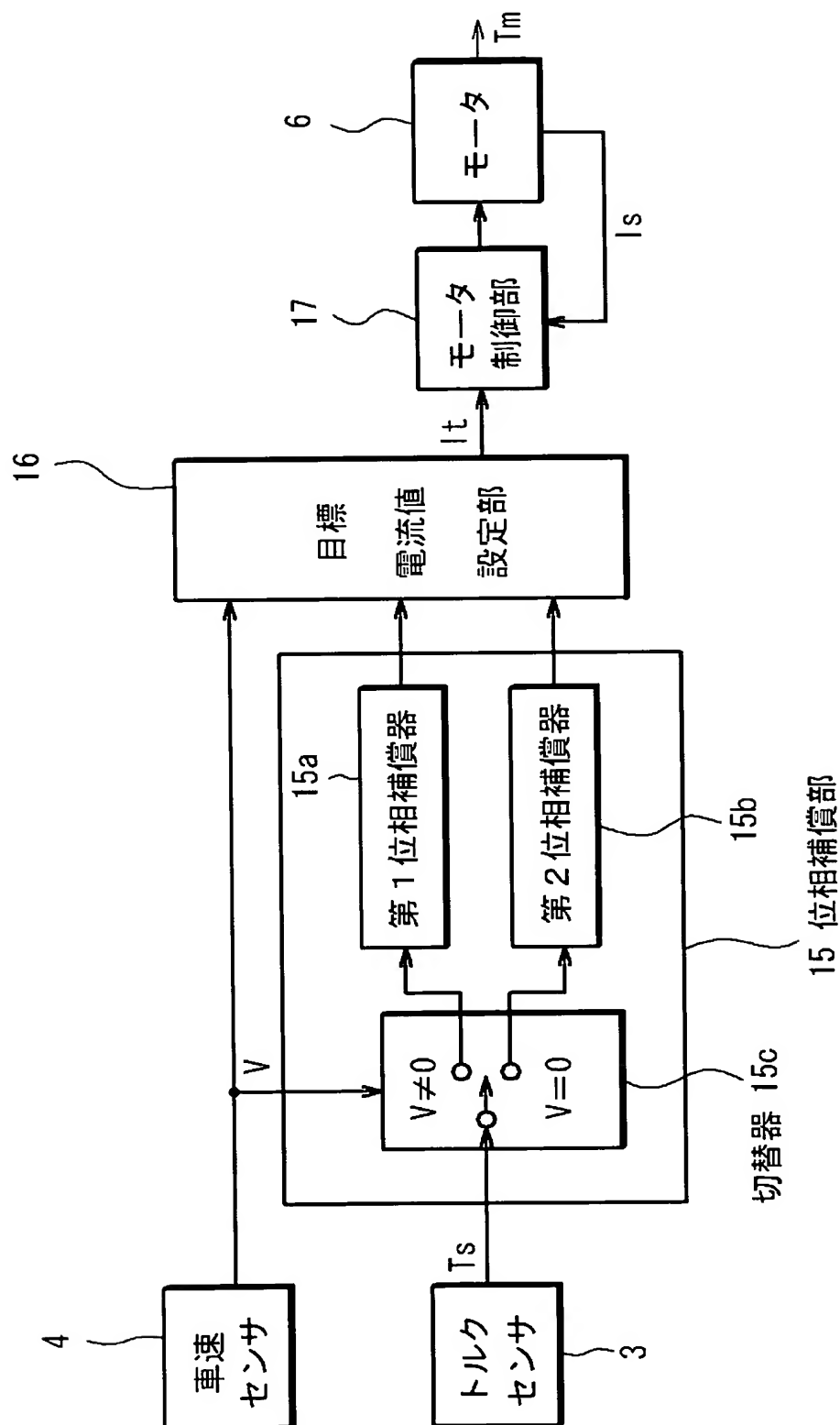
[図2]



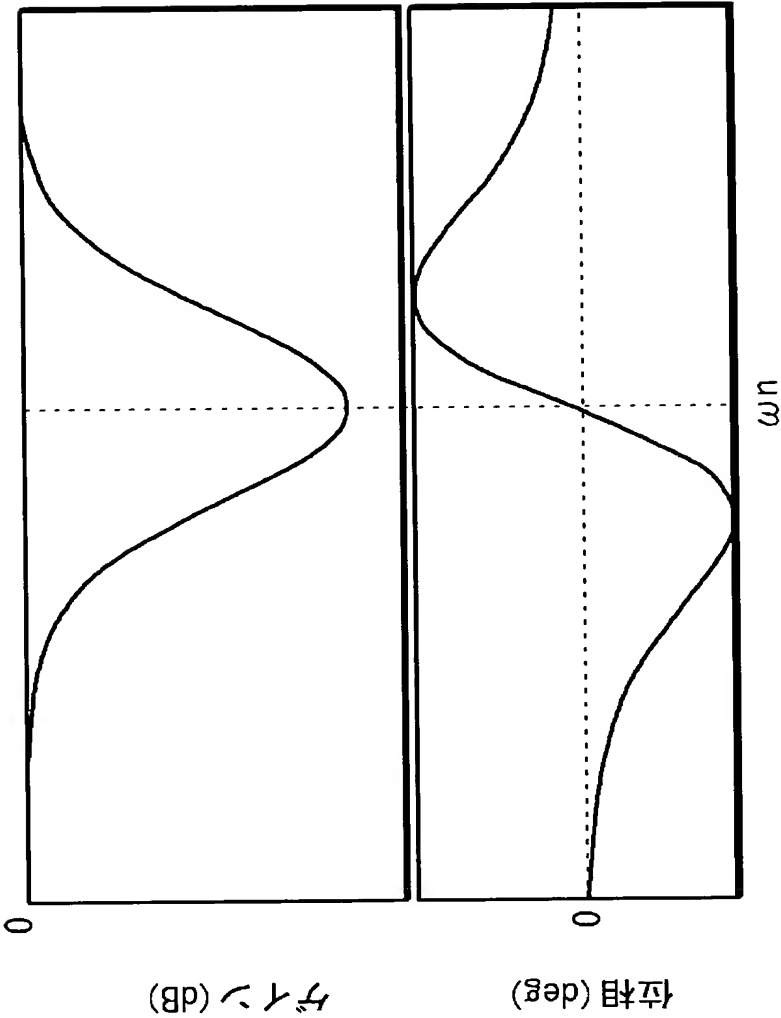
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/014376

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ B62D6/00, B62D5/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ B62D6/00, B62D5/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2002-29433 A (Mitsubishi Electric Corp.), 29 January, 2002 (29.01.02), Full text; Figs. 1 to 8 & DE 10119968 A1	1,2 3 4
Y A	JP 2000-168600 A (Mitsubishi Electric Corp.), 20 June, 2000 (20.06.00), Par. Nos. [0055] to [0059]; Figs. 1 to 16 & US 6161068 A1 & EP 1006042 A	1-3 4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
05 November, 2004 (05.11.04)

Date of mailing of the international search report
22 November, 2004 (22.11.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ B62D 6/00, B62D 5/04

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ B62D 6/00, B62D 5/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 2002-29433 A (三菱電機株式会社)	1, 2
Y	2002. 01. 29, 全文, 第1-8図 & DE 10119	3
A	968 A1	4
Y	J P 2000-168600 A (三菱電機株式会社)	1-3
A	2000. 06. 20, 【0055】～【0059】, 第1-16 図 & US 6161068 A1 & EP 1006042 A 3	4

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
05. 11. 2004

国際調査報告の発送日 22.11.2004

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
関 裕治朗

3 Q 2924

電話番号 03-3581-1101 内線 3379